

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

j1046 U.S. PTO
09/013692
03/21/01

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Data of Application: November 1, 2000
Application Number: 2000-334557
Applicant: FUJITSU LIMITED

January 26, 2001
Commissioner, Patent Office
K o z o O i k a w a

Patrick Burns
312-360-0080
2500.65339

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年11月 1日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-334557

出 願 人

Applicant(s):

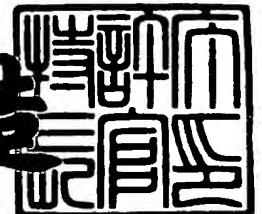
富士通株式会社



2001年 1月26日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3001147

【書類名】 特許願

【整理番号】 0051592

【提出日】 平成12年11月 1日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明の名称】 磁気抵抗効果膜およびその製造方法

【請求項の数】 10

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 清水 豊

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 柴田 達真

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100105094

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 山▲崎▼ 薫

 【電話番号】 03-5226-0508

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 049618

 【納付金額】 21,000円

【その他】 国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成12年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「超先端電子技術開発促進事業（超先端電子技術開発促進事業）」委託研究

、産業活力再生特別措置法第 3 0 条の適用を受けるもの
)

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9803088

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気抵抗効果膜およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 反強磁性層と、反強磁性層上に形成される第 1 固定側強磁性層と、第 1 固定側強磁性層上に形成される反強磁性結合層と、反強磁性結合層上に形成される第 2 固定側強磁性層と、第 2 固定側強磁性層上に形成される非磁性中間層と、非磁性中間層上に形成される自由側強磁性層とを備え、反強磁性結合層および第 2 固定側強磁性層の間には化合物が挟み込まれることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性層は、規則化された結晶構造を備えることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の磁気抵抗効果膜において、前記化合物は、酸化物、窒化物、硫化物および炭化物のうちから選択されることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の磁気抵抗効果膜において、前記酸化物、窒化物、硫化物および炭化物は、前記反強磁性結合層に含まれる元素と酸素、窒素、硫黄および炭素との化合物であることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 5】 基板上に反強磁性金属含有層を形成する工程と、反強磁性金属含有層上に第 1 固定側強磁性層を形成する工程と、第 1 固定側強磁性層上に反強磁性結合層を形成する工程と、反強磁性結合層の表面を変移させて反強磁性結合層の表面に変移体を作り出す工程と、反強磁性結合層上に第 2 固定側強磁性層を形成する工程と、第 2 固定側強磁性層上に非磁性中間層を形成する工程と、非磁性中間層上に自由側強磁性層を形成する工程と、少なくとも反強磁性金属含有層に熱処理を施す工程とを備えることを特徴とする磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の磁気抵抗効果膜の製造方法において、前記変移体の形成にあたって、前記反強磁性結合層の表面は反応性ガスに曝されることを特徴とする磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の磁気抵抗効果膜の製造方法において、前記反応性ガスは酸素および窒素のうち少なくとも一方を含むことを特徴とする磁気

抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 8】 第 1 強磁性結晶層と、第 1 強磁性結晶層からエピタキシャル成長する反強磁性結合層と、反強磁性結合層からエピタキシャル成長する第 2 強磁性結晶層とを備え、反強磁性結合層および第 2 強磁性結晶層の間には化合物が挟み込まれることを特徴とする多結晶構造膜。

【請求項 9】 請求項 8 に記載の多結晶構造膜において、前記化合物は、酸化物、窒化物、硫化物および炭化物のうちから選択されることを特徴とする多結晶構造膜。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の多結晶構造膜において、前記酸化物、窒化物、硫化物および炭化物は、前記反強磁性結合層に含まれる元素と酸素、窒素、硫黄および炭素との化合物であることを特徴とする多結晶構造膜。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば磁気ディスクや磁気テープといった磁気記録媒体から磁気情報を読み出す磁気抵抗効果素子に関し、特に、反強磁性層と、反強磁性層上に形成される第 1 固定側強磁性層と、第 1 固定側強磁性層上に形成される反強磁性結合層と、反強磁性結合層上に形成される第 2 固定側強磁性層と、第 2 固定側強磁性層上に形成される非磁性中間層と、非磁性中間層上に形成される自由側強磁性層とを備える磁気抵抗効果膜およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

一般に、反強磁性層の形成にあたっては、例えば基板上に積層された P t M n 系合金や P d M n 系合金、N i M n 系合金といった反強磁性金属含有層に熱処理が施される。熱処理の結果、反強磁性金属含有層の f c c (面心立方晶) 構造は f c t (面心正方晶) 構造に規則化される。こうした規則化に基づき反強磁性金属含有層内で原子が再配置されると、反強磁性金属含有層に反強磁性が発現する。こうして磁気抵抗効果膜の反強磁性層は形成される。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

熱処理後、磁気抵抗効果膜の表面にはうねりすなわち界面ラフネスが形成されてしまう。この界面ラフネスは、反強磁性金属含有層内で引き起こされる原子の再配置に基づき形作られると考えられる。こうした原子の再配置は、反強磁性層上に形成される固定側強磁性層や非磁性中間層、自由側強磁性層に同様にうねりを生み出す。非磁性中間層にうねりが生成されると、自由側強磁性層の磁化方向は固定側強磁性層の磁化方向に結びつきやすくなる。自由側強磁性層では磁化方向の回転は妨げられる。

【0004】

自由側強磁性層および固定側強磁性層の間で磁氣的な結合を断ち切るには、非磁性中間層に相当の膜厚が与えられなければならない。こうして非磁性中間層の膜厚が増大すると、磁気抵抗効果膜では、抵抗変化の検出に寄与しないシャント電流が増大してしまう。いわゆるMR（磁気抵抗効果）比は悪化してしまう。

【0005】

本発明は、上記実状に鑑みてなされたもので、非磁性中間層の膜厚をできる限り減少させて、確実にMR比を増大させることができる磁気抵抗効果膜およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、第1発明によれば、反強磁性層と、反強磁性層上に形成される第1固定側強磁性層と、第1固定側強磁性層上に形成される反強磁性結合層と、反強磁性結合層上に形成される第2固定側強磁性層と、第2固定側強磁性層上に形成される非磁性中間層と、非磁性中間層上に形成される自由側強磁性層とを備え、反強磁性結合層および第2固定側強磁性層の間には化合物が挟み込まれることを特徴とする磁気抵抗効果膜が提供される。

【0007】

こうした磁気抵抗効果膜では、第1および第2固定側強磁性層と反強磁性結合層とはいわゆる積層フェリ構造を構成する。すなわち、第1および第2固定側強磁性層は、化合物の介入にも拘わらず、反強磁性結合層の働きで反強磁性的に相

互に結びつけられることができる。反強磁性層の影響下で、自由側強磁性層に向き合う第2固定側強磁性層の磁化方向は強固に固定される。

【0008】

その一方で、こういった磁気抵抗効果膜では、たとえ反強磁性層の表面に大きな界面ラフネスすなわちうねりが形成されても、化合物の働きでうねりの伝搬は著しく抑制されることができる。非磁性中間層の上下1対の界面で界面ラフネスは抑制される。非磁性中間層の膜厚が減少しても第2固定側強磁性層と自由側強磁性層との磁気的な結合は確実に回避されることができる。したがって、自由側強磁性層の磁化方向は、非磁性中間層の膜厚の減少にも拘わらず、磁界の向きに応じて比較的簡単に回転することができる。磁気抵抗効果膜の磁気抵抗効果(MR)比は向上する。しかも、非磁性中間層の薄型化に基づき、抵抗変化の検出に寄与しないシャント電流は著しく低減されることができる。

【0009】

一般に、前述の反強磁性層は、規則化された結晶構造すなわち f c t (面心正方晶) 構造を備える。こういった反強磁性層の表面すなわち界面には大きな界面ラフネスすなわちうねりが形成されやすい。前述のように、化合物の働きで、第1固定側強磁性層から第2固定側強磁性層に向かう界面ラフネスすなわちうねりの伝搬は著しく抑制されることができる。

【0010】

以上のような磁気抵抗効果膜では、化合物は、酸化物、窒化物、硫化物および炭化物のうちから選択されればよい。こういった酸化物、窒化物、硫化物および炭化物は、反強磁性結合層に含まれる元素と酸素、窒素、硫黄および炭素との化合物であってもよい。このとき、反強磁性結合層の膜厚は0.5 nm~0.9 nmに設定されることが望まれる。非磁性中間層の膜厚は1.9 nm~2.3 nmに設定されることが望まれる。

【0011】

また、第2発明によれば、基板上に反強磁性金属含有層を形成する工程と、反強磁性金属含有層上に第1固定側強磁性層を形成する工程と、第1固定側強磁性層上に反強磁性結合層を形成する工程と、反強磁性結合層の表面を変移させて反

強磁性結合層の表面に変移体を作り出す工程と、反強磁性結合層上に第2固定側強磁性層を形成する工程と、第2固定側強磁性層上に非磁性中間層を形成する工程と、非磁性中間層上に自由側強磁性層を形成する工程と、少なくとも反強磁性金属含有層に熱処理を施す工程とを備えることを特徴とする磁気抵抗効果膜の製造方法が提供される。

【 0 0 1 2 】

かかる製造方法では、反強磁性金属含有層に熱処理が施されると、反強磁性金属含有層で原子の再配置が引き起こされる。例えば f c c (面心立方晶) 構造は f c t 構造に移行する。この再配置に基づき、加熱後の反強磁性金属含有層では反強磁性が出現する。同時に、こういった再配置は反強磁性層の表面すなわち界面に界面ラフネスを形成する。変移体は、反強磁性層から第2固定側強磁性層に向かううねりの伝搬を効率的に阻止することができる。その結果、非磁性中間層のうねりは大いに抑制されることができる。

【 0 0 1 3 】

変移体は、酸化物、窒化物、硫化物および炭化物のうち少なくともいずれか1つから構成されればよい。こういった変移体の形成にあたって、反強磁性結合層の表面は反応性ガスに曝されればよい。反応性ガスには、例えば O_2 ガスや N_2 ガス、 SO_2 ガス、 H_2S ガス、 CO ガスが用いられればよい。

【 0 0 1 4 】

さらに、第3発明によれば、第1強磁性結晶層と、第1強磁性結晶層からエピタキシャル成長する反強磁性結合層と、反強磁性結合層からエピタキシャル成長する第2強磁性結晶層とを備え、反強磁性結合層および第2強磁性結晶層の間には化合物が挟み込まれることを特徴とする多結晶構造膜が提供される。

【 0 0 1 5 】

こうした多結晶構造膜では、第1および第2強磁性結晶層と反強磁性結合層とはいわゆる積層フェリ構造を構成する。すなわち、第1および第2強磁性結晶層は、化合物の介入にも拘わらず、反強磁性結合層の働きで反強磁性的に相互に結びつけられることができる。その一方で、こういった多結晶構造膜では、化合物の働きでうねりの伝搬は著しく抑制されることができる。化合物は、第1および

第2強磁性結晶層の間で行き交う界面ラフネスすなわちうねりを伝搬を効率的に阻止することができる。したがって、たとえ第1強磁性結晶層の界面が界面ラフネスに接していても、第2強磁性結晶層に伝搬されるうねりは確実に抑制される。反対に、たとえ第2強磁性結晶層の界面が界面ラフネスに接していても、第1強磁性結晶層に伝搬されるうねりは確実に抑制される。

【0016】

このとき、化合物は、酸化物、窒化物、硫化物および炭化物のうちから選択されればよい。こういった酸化物、窒化物、硫化物および炭化物は、反強磁性結合層に含まれる元素と酸素、窒素、硫黄および炭素との化合物であればよい。

【0017】

以上のような磁気抵抗効果膜は、磁気ディスク駆動装置や磁気テープ駆動装置といった磁気記録媒体駆動装置の読み出しヘッド（素子）に採用されることができる。磁気ディスク駆動装置には例えばハードディスク駆動装置（HDD）が含まれる。

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照しつつ本発明の一実施形態を説明する。

【0019】

図1は磁気記録媒体駆動装置の一具体例すなわちハードディスク駆動装置（HDD）11の内部構造を概略的に示す。このHDD11は、例えば平たい直方体の内部空間を区画する箱形の筐体本体12を備える。収容空間には、記録媒体としての1枚以上の磁気ディスク13が収容される。磁気ディスク13はスピンドルモータ14の回転軸に装着される。スピンドルモータ14は、例えば7200rpmや10000rpmといった高速度で磁気ディスク13を回転させることができる。筐体本体12には、筐体本体12との間で収容空間を密閉する蓋体すなわちカバー（図示せず）が結合される。

【0020】

収容空間には、垂直方向に延びる支軸15回りで揺動するキャリッジ16がさらに収容される。このキャリッジ16は、支軸15から水平方向に延びる剛体の

揺動アーム 17 と、この揺動アーム 17 の先端に取り付けられて揺動アーム 17 から前方に延びる弾性サスペンション 18 とを備える。周知の通り、弾性サスペンション 18 の先端では、いわゆるジンバルばね（図示せず）の働きで浮上ヘッドスライダ 19 は片持ち支持される。浮上ヘッドスライダ 19 には、磁気ディスク 13 の表面に向かって弾性サスペンション 18 から押し付け力が作用する。磁気ディスク 13 の回転に基づき磁気ディスク 13 の表面で生成される気流の働きで浮上ヘッドスライダ 19 には浮力が作用する。弾性サスペンション 18 の押し付け力と浮力とのバランスで磁気ディスク 13 の回転中に比較的の高い剛性で浮上ヘッドスライダ 19 は浮上し続けることができる。

【0021】

こうした浮上ヘッドスライダ 19 の浮上中に、キャリッジ 16 が支軸 15 回りで揺動すると、浮上ヘッドスライダ 19 は半径方向に磁気ディスク 13 の表面を横切ることができる。こうした移動に基づき浮上ヘッドスライダ 19 は磁気ディスク 13 上の所望の記録トラックに位置決めされる。このとき、キャリッジ 16 の揺動は例えばボイスコイルモータ（VCM）といったアクチュエータ 21 の働きを通じて実現されればよい。周知の通り、複数枚の磁気ディスク 13 が筐体本体 12 内に組み込まれる場合には、隣接する磁気ディスク 13 同士の間で 1 本の揺動アーム 17 に対して 2 つの弾性サスペンション 18 が搭載される。

【0022】

図 2 は浮上ヘッドスライダ 19 の一具体例を示す。この浮上ヘッドスライダ 19 は、平たい直方体に形成される Al_2O_3-TiC （アルチック）製のスライダ本体 22 と、このスライダ本体 22 の空気流出端に接合されて、読み出し書き込みヘッド 23 を内蔵する Al_2O_3 （アルミナ）製のヘッド素子内蔵膜 24 とを備える。スライダ本体 22 およびヘッド素子内蔵膜 24 には、磁気ディスク 13 に対向する媒体対向面すなわち浮上面 25 が規定される。磁気ディスク 13 の回転に基づき生成される気流 26 は浮上面 25 に受け止められる。

【0023】

浮上面 25 には、空気流入端から空気流出端に向かって延びる 2 筋のレール 27 が形成される。各レール 27 の頂上面にはいわゆる ABS（空気軸受け面）2

8が規定される。ABS 28では気流26の働きに応じて前述の浮力が生成される。ヘッド素子内蔵膜24に埋め込まれた読み出し書き込みヘッド23は、後述されるように、ABS 28で露出する。なお、浮上ヘッドスライダ19の形態はこういった形態に限られるものではない。

【0024】

図3は浮上面25の様子を詳細に示す。読み出し書き込みヘッド23は、磁気ディスク13から作用する磁界に応じて変化する抵抗に基づき2値情報を読み取る磁気抵抗効果(MR)素子31と、導電コイルパターン(図示せず)で生起される磁界を利用して磁気ディスク13に2値情報を書き込む誘導書き込みヘッド素子32とを備える。MR素子31は上下1対の非磁性ギャップ層33、34に挟み込まれる。非磁性ギャップ層33、34は例えば Al_2O_3 (アルミナ)で構成されればよい。こうして非磁性ギャップ層33、34に挟み込まれたMR素子31は上部および下部シールド層35、36に挟み込まれる。上部および下部シールド層35、36は例えばFeNやNiFeから構成されればよい。下部シールド層36は Al_2O_3 (アルミナ)膜37の表面に沿って広がる。

【0025】

誘導書き込みヘッド素子32は、上部シールド層35の表面に沿って広がる非磁性ギャップ層38を備える。非磁性ギャップ層38は例えば Al_2O_3 (アルミナ)で構成されればよい。上部シールド層35には、この非磁性ギャップ層38を挟んで上部磁極層39が向き合う。上部磁極層39は例えばNiFeから構成されればよい。上部磁極層39は、非磁性ギャップ層38の表面に沿って広がる Al_2O_3 (アルミナ)膜40に覆われる。 Al_2O_3 膜37、40は前述のヘッド素子内蔵膜24を構成する。

【0026】

上部磁極層39および上部シールド層35は協働して誘導書き込みヘッド素子32の磁性コアを構成する。すなわち、誘導書き込みヘッド素子32の下部磁極層はMR素子31の上部シールド層35として機能する。導電コイルパターンで磁界が生起されると、非磁性ギャップ層38の働きで、上部磁極層39と上部シールド層35とを行き交う磁束流は浮上面25から漏れ出る。こうして漏れ出る

磁束流によって記録磁界（ギャップ磁界）は形成される。

【 0 0 2 7 】

MR素子32は、基礎層すなわち非磁性ギャップ層34の表面に沿って広がる磁気抵抗効果（MR）膜すなわちスピバルブ膜41を備える。このスピバルブ膜41には、非磁性ギャップ層34の表面に交差する区画面で仕切られた1対の端面41a、41bが形成される。これら端面41a、41bは非磁性ギャップ層34の表面に対してテーパ角 θ で傾斜する。

【 0 0 2 8 】

同様に、基礎層すなわち非磁性ギャップ層34の表面には、浮上面25に沿ってスピバルブ膜41を挟み込む1対の磁区制御膜42が形成される。磁区制御膜42は、非磁性ギャップ層34の表面で浮上面25に沿って延びる。磁区制御膜42の先端はスピバルブ膜41の端面41a、41bに接続される。各磁気制御膜42の表面には導電性の電極端子膜43が広がる。スピバルブ膜41には電極端子膜43からセンス電流が供給される。磁区制御膜42は例えばC o P tやC o C r P tといった導電性金属から形成されればよい。電極端子膜43は、例えば上下1対のT a層と、このT a層に挟み込まれたT i W層とを備える積層膜で構成されればよい。

【 0 0 2 9 】

図4に示されるように、スピバルブ膜41は、非磁性ギャップ層34の表面に積層される下地層44を備える。この下地層44は、例えば膜厚5.0nm程度のT a層44aと、T a層44aの表面に積層される膜厚2.0nm程度のN i F e層44bとで構成されればよい。

【 0 0 3 0 】

下地層44の表面には反強磁性層（pinning layer）45が重ね合わせられる。この反強磁性層45は例えば膜厚15.0nm程度のP d P t M n層で構成されればよい。この反強磁性層45では、規則化された結晶構造すなわちf c t（面心正方晶）構造が確立される。ただし、反強磁性層45には、例えばP t M n系合金やP d M n系合金、N i M n系合金から選択される少なくとも1種が用いられてもよい。反強磁性層45の表面すなわち界面には、規則化の

影響に基づき界面ラフネスすなわちうねりが形成される。

【 0 0 3 1 】

反強磁性層 4 5 の表面には積層フェリ構造の多結晶構造膜すなわち固定側強磁性層 (p i n n e d l a y e r) 4 6 が重ね合わせられる。反強磁性層 4 5 と固定側強磁性層 4 6 との間には交換結合が確立される。その結果、反強磁性層 4 5 の働きに応じて固定側強磁性層 4 6 の磁化方向は固定される。固定側強磁性層 4 6 の表面すなわち界面では、後述されるように、反強磁性層 4 5 の界面に比べて界面ラフネスすなわちうねりは著しく抑制される。

【 0 0 3 2 】

固定側強磁性層 4 6 の表面には非磁性中間層 4 7 が重ね合わせられる。非磁性中間層 4 7 は例えば膜厚 2 . 3 n m 程度の C u 層で構成されればよい。この非磁性中間層 4 7 の表面にはさらに自由側強磁性層 (f r e e l a y e r) 4 8 が重ね合わせられる。自由側強磁性層 4 8 は例えば膜厚 2 . 0 n m 程度の C o F e B 層で構成されればよい。自由側強磁性層 4 8 の表面は例えば保護層 4 9 で覆われる。保護層 4 9 は、例えば膜厚 4 . 0 n m 程度の C u 層 4 9 a と、 C u 層 4 9 a 上に形成されるキャップ層すなわち T a 層 4 9 b とを備えればよい。

【 0 0 3 3 】

磁気情報の読み出しにあたって M R 素子 3 1 が磁気ディスク 1 3 の表面に向き合わせられると、スピバルブ膜 4 1 では、周知の通り、磁気ディスク 1 3 から作用する磁化方向に応じて自由側強磁性層 4 8 の磁化方向は回転する。こうして自由側強磁性層 4 8 の磁化方向が回転すると、スピバルブ膜 4 1 の電気抵抗は大きく変化する。したがって、電極端子膜 4 3 からスピバルブ膜 4 1 にセンス電流が供給されると、電気抵抗の変化に応じて、電極端子膜 4 3 から取り出される電気信号のレベルは変化する。このレベルの変化に応じて 2 値情報は読み取られる。

【 0 0 3 4 】

このとき、以上のような M R 素子 3 1 では、非磁性中間層 4 7 の上下 1 対の界面で界面ラフネスは抑制されることから、非磁性中間層 4 7 の膜厚が減少しても固定側強磁性層 4 6 と自由側強磁性層 4 8 との磁気的な結合は確実に回避される

ことができる。したがって、自由側強磁性層 4 8 の磁化方向は、非磁性中間層 4 7 の膜厚の減少にも拘わらず、磁気ディスク 1 3 から作用する磁化方向に応じて比較的簡単に回転することができる。MR 素子 3 1 では、MR 比すなわち磁気情報の検出感度は向上する。しかも、非磁性中間層 4 7 の薄型化に基づき、抵抗変化の検出に寄与しないシャント電流は著しく低減されることができる。

【 0 0 3 5 】

ここで、固定側強磁性層 4 6 の構造を詳述する。図 5 に示されるように、この固定側強磁性層 4 6 は、反強磁性層 4 5 の表面に重ね合わせられる第 1 強磁性結晶層すなわち第 1 固定側強磁性層 4 6 a を備える。この第 1 固定側強磁性層 4 6 a は例えば膜厚 1. 5 n m 程度の C o F e B 層で構成されればよい。第 1 固定側強磁性層 4 6 の表面すなわち界面には、前述の反強磁性層 4 5 の界面と同程度の界面ラフネスが引き起こされる。

【 0 0 3 6 】

第 1 固定側強磁性層 4 6 a の表面には反強磁性結合層 4 6 b が重ね合わせられる。反強磁性結合層 4 6 b は例えば R u 層で構成されればよい。反強磁性結合層 4 6 b の表面は化合物層 5 1 で覆われる。化合物層 5 1 は例えば酸化物、窒化物、硫化物および炭化物といった化合物から構成されればよい。こういった化合物は、例えば R u 元素と、この R u 元素に結びついた酸素、窒素、硫黄および炭素とから構成されればよい。化合物層 5 1 の表面すなわち界面では、第 1 固定側強磁性層 4 6 a の界面に比べて界面ラフネスすなわちうねりは著しく弱められる。反強磁性結合層 4 6 b および化合物層 5 1 の総膜厚は例えば 0. 7 n m 程度に設定される。

【 0 0 3 7 】

化合物層 5 1 の表面には、反強磁性結合層 4 6 b との間に化合物層 5 1 を挟み込む第 2 固定側強磁性層 4 6 c が重ね合わせられる。第 2 固定側強磁性層 4 6 c は例えば膜厚 2. 0 n m 程度の C o F e B 層で構成されればよい。第 2 固定側強磁性層 4 6 c は、反強磁性結合層 4 6 b の働きで第 1 固定側強磁性層 4 6 a に反強磁性的に結びつけられる。その結果、非磁性中間層 4 7 を挟んで自由側強磁性層 4 8 に向き合う第 2 固定側強磁性層 4 6 c の磁化方向は強固に固定される。し

かも、この第2固定側強磁性層の表面すなわち界面では、反強磁性結合層46bの働きに応じて、界面ラフネスすなわちうねりは著しく抑制される。

【0038】

次にMR素子31の製造方法を詳述する。周知の通り、アルチック製ウェハー（図示せず）の表面には Al_2O_3 膜37が成膜される。この Al_2O_3 膜37上で下部シールド層36および非磁性ギャップ層34は順番に積層形成されていく。続いて、非磁性ギャップ層34すなわち基礎層の表面には、例えば図6に示されるように、スピバルブ膜41と同一の層構造で構成される素材片53が積層される。この素材片53の形成方法の詳細は後述される。周知の通り、この素材片53からスピバルブ膜41は削り出される。この削り出しにあたって、図7に示されるように、スピバルブ膜41を挟み込む1対の磁区制御膜42は同時に形成される。その後、周知の通り、各磁区制御膜42に覆い被さる1対の電極端子膜43は形作られる。

【0039】

ここで、前述の素材片53の形成方法を詳述する。図8に示されるように、ウェハー上では、非磁性ギャップ層34の表面にTa層54およびNiFe層55が順次に積層される。続いてNiFe層55の表面には反強磁性金属含有層すなわちPdPtMn層56が積層される。このPdPtMn層56はfcc（面心立方晶）構造の多結晶膜に形成される。このとき、各結晶粒では、Ta層54およびNiFe層55の働きでいわゆる $\langle 1, 1, 1 \rangle$ 配向が確立される。Ta層54やNiFe層55、PdPtMn層56の形成には例えばスパッタリング法が用いられればよい。

【0040】

続いて、PdPtMn層56の表面には第1強磁性結晶層すなわちCoFeB層57および反強磁性結合層すなわちRu層58が順次に積層される。CoFeB層57はPdPtMn層56からエピタキシャル成長する。同様に、Ru層58はCoFeB層57上でPdPtMn層56からのエピタキシャル成長を維持する。CoFeB層57やRu層58の形成にあたっては、同様に、スパッタリング法が用いられればよい。

【 0 0 4 1 】

その後、例えば図 9 に示されるように、Ru 層 5 8 の表面は例えば O_2 ガスといった反応性ガス 5 9 に曝される。例えば Ru 層 5 8 の表面が O_2 ガスに曝されると、酸素との結びつきに基づき Ru 元素は酸化化合物に変移する。Ru 層 5 8 の表面に変移体すなわち酸化化合物が作り出される。こういった酸化化合物の生成にあたって、Ru 層 5 8 の表面は酸素雰囲気下に放置されてもよく、Ru 層 5 8 の表面には酸素プラズマが照射されてもよい。例えば O_2 ガスに代えて N_2 ガスが用いられれば、Ru 層 5 8 の表面では、Ru 元素は窒化化合物に変移することができる。例えば SO_2 ガスや H_2S ガスが用いられれば、Ru 元素は硫化化合物に変移することができる。CO ガスが用いられれば、Ru 元素は炭化化合物に変移することができる。変移体は、Ru 層 5 8 の表面に散在してもよく、Ru 層 5 8 の表面を満遍なく覆い尽くして変移層を形成してもよい。

【 0 0 4 2 】

こうして Ru 層 5 8 の表面に変移体が形成されると、例えば図 1 0 に示されるように、Ru 層 5 8 の表面には、第 2 強磁性結晶層すなわち CoFeB 層 6 1、非磁性中間層すなわち Cu 層 6 2、第 3 強磁性結晶層すなわち CoFeB 層 6 3 が順番に積層されていく。CoFeB 層 6 1、Cu 層 6 2 および CoFeB 層 6 3 の積層にあたって前述のエピタキシャル成長は維持される。前述と同様に、CoFeB 層 6 1 や Cu 層 6 2、CoFeB 層 6 3 の形成には例えばスパッタリング法が用いられればよい。その後、CoFeB 層 6 3 の表面には、例えばスパッタリング法を通じて保護層すなわち Cu 層 6 4 や Ta 層 6 5 が順番に積層されていく。

【 0 0 4 3 】

こうして形成された多結晶構造膜すなわち積層膜には熱処理が施される。熱処理にあたって、積層膜は真空中で例えば 280°C 程度の高温に曝される。高温の適用は例えば 3 時間にわたって継続される。この熱処理で、反強磁性結合層すなわち PdPtMn 層 5 6 は規則化される。原子は再配置される。fcc 構造は fct 構造に移行する。こうして PdPtMn 層 5 6 内で fct 構造が確立されると、PdPtMn 層 5 6 は反強磁性を発揮する。このとき、積層膜には、ウェハ

一面に平行に 2 [T e s l a] の直流磁界が印加される。この直流磁界の働きで、第 1 強磁性結晶層すなわち C o F e B 層 5 7 の磁化方向は所望の向きに固定されることができる。

【 0 0 4 4 】

こうして f c t 構造が確立されると、原子の再配置の影響で加熱後の P d P t M n 層 5 6 すなわち反強磁性層の表面では界面ラフネスが生み出される。この界面ラフネスすなわちうねりは、P d P t M n 層 5 6 からエピタキシャル成長した C o F e B 層 5 7 や R u 層 5 8 のうねりを誘引する。しかしながら、こうしたうねりは R u 層 5 8 の表面に存在する変移体の働きで食い止められる。言い換えれば、R u 層 5 8 の表面では界面ラフネスは最大限に抑制されることができる。その結果、R u 層 5 8 からエピタキシャル成長した C o F e B 層 6 1、C u 層 6 2 および C o F e B 層 6 3 にはうねりは伝達されない。

【 0 0 4 5 】

本発明者は、以上のような固定側強磁性層 4 6 やスピバルブ膜 4 1 の特性を検証した。まず、発明者は、例えば図 1 1 に示されるように、S i O₂ で被覆された A l₂ O₃ - T i C 製ウェハー 6 6 上に、膜厚 5. 0 n m の T a 層 6 7、膜厚 6. 0 n m の C u 層 6 8、膜厚 3. 0 n m の C o F e B 層 6 9、表面に酸化物を保持した R u 層 7 0、膜厚 3. 0 n m の C o F e B 層 7 1、膜厚 3. 0 n m の T a 層 7 2 が順番に積層された多結晶構造膜の具体例を準備した。各層の積層にはマグネトロンスパッタ装置が使用された。酸化物の形成にあたって R u 層 7 0 の表面は酸素雰囲気中に放置された。R u 層（酸化物を含む）7 0 の膜厚を変化させながら具体例に係る結晶構造膜の磁化曲線は測定された。測定された磁化曲線に基づき、[表 1] に示される通り、飽和磁界の大きさ H_s と、残留磁化 M_r および飽和磁化 M_s の比率 M_r / M_s とが規定の膜厚ごとに算出された。

【 0 0 4 6 】

この検証にあたって、[表 1] から明らかなように、発明者は比較例に係る多結晶構造膜を用意した。この比較例では、表面に酸化物を保持した R u 層 7 0 に代えて、C o F e B 層 6 9、7 1 同士の間には R u 単体層が挟み込まれた。

【 0 0 4 7 】

【表 1】

Ru 層膜厚 [nm]	具体例		比較例	
	Hs [kA/m]	Mr/Ms	Hs [kA/m]	Mr/Ms
0.3	875.4	0.3	954.9	0.2
0.5	477.5	0	437.7	0
0.7	397.9	0	397.9	0
0.9	278.5	0	318.3	0
1.1	0.3	1	0.2	1
1.3	0.2	1	0.2	1

【0048】

【表 1】 から明らかなように、具体例と比較例との間で、飽和磁界の大きさ H_s や M_r/M_s 比の値に大差は認められなかった。この結果、化合物すなわち酸化物の介入にも拘わらず、上下 1 対の $CoFeB$ 層 69、71 同士すなわち第 1 および第 2 強磁性結晶層同士の間には確実に反強磁性結合が確立されることが確認された。しかも、反強磁性結合層すなわち Ru 層 70 の膜厚が $0.5\text{ nm} \sim 0.9\text{ nm}$ の範囲で設定されれば、 M_r/M_s 比は最も良好な値を示すことが確認された。したがって、この積層フェリ構造の多結晶構造膜では $0.5\text{ nm} \sim 0.9\text{ nm}$ の範囲で反強磁性結合層すなわち Ru 層 70 の膜厚が設定されることが望まれる。

【0049】

次に本発明者は前述のスピンバルブ膜 41 を再現した。すなわち、 SiO_2 で被覆された Al_2O_3-TiC 製ウェハー上に、膜厚 5.0 nm の Ta 層、膜厚 2.0 nm の $NiFe$ 層、膜厚 15.0 nm の $PdPtMn$ 層、膜厚 1.5 nm の $CoFeB$ 層、膜厚 0.7 nm の Ru 層、膜厚 2.0 nm の $CoFeB$ 層、膜厚 2.3 nm の Cu 層、膜厚 2.0 nm の $CoFeB$ 層、膜厚 1.0 nm の Cu 層、 Ta 層が順番に積層された具体例が準備された。前述と同様に、積層過程で Ru 層の表面は酸素雰囲気中に放置された。 $PdPtMn$ 層が規則化された後に、【表 2】 に示される通り、磁気抵抗効果 (MR) 比のほか、 $CoFeB$ 層同士すなわち第 1 および第 2 固定側強磁性層 46a、46c 同士の間で交わされる交

交換結合磁界 H_{ua} の大きさや、2つの $CoFeB$ 層すなわち固定側強磁性層 4 6 および自由側強磁性層 4 8 の間で交わされる交換結合磁界 H_{in} の大きさが測定された。

【0050】

この検証にあたって、[表 2] から明らかなように、発明者は比較例に係るスピナルバルブ膜を用意した。この比較例では、表面に酸化物を保持した Ru 層に代えて、 $CoFeB$ 層同士すなわち第 1 および第 2 固定側強磁性層 4 6 a、4 6 c 同士の間に Ru 単体層が挟み込まれた。

【0051】

【表 2】

	MR 比 [%]	H_{ua} [kA/m]	H_{in} [kA/m]
具体例	7.7	99.5	0.4
比較例	4	87.5	6.5

【0052】

[表 2] から明らかなように、具体例では、比較例と同等な交換結合磁界 H_{ua} が維持されるにも拘わらず、比較例に比べて交換結合磁界 H_{in} は著しく低減されることが確認された。その結果、具体例の MR 比は著しく向上した。

【0053】

さらに、本発明者は、前述のスピナルバルブ膜 4 1 と同様に、 SiO_2 で被覆された Al_2O_3-TiC 製ウェハー上に、膜厚 5.0 nm の Ta 層、膜厚 2.0 nm の $NiFe$ 層、膜厚 15.0 nm の $PdPtMn$ 層、膜厚 1.0 nm の $CoFeB$ 層、膜厚 0.7 nm の Ru 層、膜厚 1.5 nm の $CoFeB$ 層、 Cu 層、膜厚 2.0 nm の $CoFeB$ 層、膜厚 1.0 nm の Cu 層、 Ta 層が順番に積層された具体例を準備した。前述と同様に、積層過程で Ru 層の表面は酸素雰囲気中に放置された。 $PdPtMn$ 層が規則化された後に、[表 2] に示される通りに、非磁性中間層 4 7 すなわち Cu 層の膜厚を変化させながら、磁気抵抗効果 (MR) 比のほか、 $CoFeB$ 層同士すなわち第 1 および第 2 固定側強磁性層 4 6 a、4 6 c 同士の間で交わされる交換結合磁界 H_{ua} の大きさや、2つの CoF

e B 層すなわち固定側強磁性層 4 6 および自由側強磁性層 4 8 の間で交わされる交換結合磁界 H_{in} の大きさが規定の膜厚ごとに測定された。

【 0 0 5 4 】

【表 3】

Cu 層膜厚 [nm]	MR 比 [%]	H_{ua} [kA/m]	H_{in} [kA/m]
1.8	7.6	59.7	5.2
1.9	8.2	75.6	0.9
2.0	8.0	77.2	0.02
2.1	8.0	79.6	-0.3
2.2	7.8	79.6	-0.3
2.3	7.7	87.5	-0.3

【 0 0 5 5 】

【表 3】から明らかなように、前述のように R u 層の表面に酸化物が介入するスピバルブ膜 4 1 では、非磁性中間層 4 7 すなわち C u 層の膜厚が例えば 1.9 nm ~ 2.3 nm 程度に設定されても、固定側強磁性層 4 6 と自由側強磁性層 4 8 との間で十分に交換結合磁界 H_{in} は抑制されることが確認された。しかも、スピバルブ膜 4 1 では高い MR 比が維持されることが確認された。ただし、C u 層の膜厚が 1.8 nm を下回ると、MR 比は悪化する傾向が見受けられた。

【 0 0 5 6 】

一般に、スピバルブ膜では、固定側強磁性層と自由側強磁性層との間で交換結合磁界 H_{in} は抑制されなければならない。固定側強磁性層と自由側強磁性層との間に大きな交換結合磁界 H_{in} が引き起こされると、自由側強磁性層では磁化方向の回転は妨げられる。スピバルブ膜の抵抗変化率は悪化してしまう。非磁性中間層の膜厚が増大すれば、こういった磁気的な結びつきは抑制されることができる。従来のスピバルブ膜では、非磁性中間層には 2.8 nm ~ 3.0 nm 程度の膜厚が確保されてきた。その一方で、非磁性中間層の膜厚が増大すると、磁界の検出にあたって抵抗変化の検出に寄与しないシャント電流は増大する。シャント電流の増大は MR 比の悪化をもたらしてしまう。

【 0 0 5 7 】

(付記 1) 反強磁性層と、反強磁性層上に形成される第 1 固定側強磁性層と、第 1 固定側強磁性層上に形成される反強磁性結合層と、反強磁性結合層上に形成される第 2 固定側強磁性層と、第 2 固定側強磁性層上に形成される非磁性中間層と、非磁性中間層上に形成される自由側強磁性層とを備え、反強磁性結合層および第 2 固定側強磁性層の間には化合物が挟み込まれることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【 0 0 5 8 】

(付記 2) 付記 1 に記載の磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性層は、規則化された結晶構造を備えることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【 0 0 5 9 】

(付記 3) 付記 2 に記載の磁気抵抗効果膜において、前記化合物は、酸化物、窒化物、硫化物および炭化物のうちから選択されることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【 0 0 6 0 】

(付記 4) 付記 3 に記載の磁気抵抗効果膜において、前記酸化物、窒化物、硫化物および炭化物は、前記反強磁性結合層に含まれる元素と酸素、窒素、硫黄および炭素との化合物であることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【 0 0 6 1 】

(付記 5) 付記 4 に記載の磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性結合層の膜厚は 0.5 nm ～ 0.9 nm に設定されることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【 0 0 6 2 】

(付記 6) 付記 5 に記載の磁気抵抗効果膜において、前記非磁性中間層の膜厚は 1.9 nm ～ 2.3 nm に設定されることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【 0 0 6 3 】

(付記 7) 基板上に反強磁性金属含有層を形成する工程と、反強磁性金属含有層上に第 1 固定側強磁性層を形成する工程と、第 1 固定側強磁性層上に反強磁性結合層を形成する工程と、反強磁性結合層の表面を変移させて反強磁性結合層の表面に変移体を作り出す工程と、反強磁性結合層上に第 2 固定側強磁性層を形

成する工程と、第2固定側強磁性層上に非磁性中間層を形成する工程と、非磁性中間層上に自由側強磁性層を形成する工程と、少なくとも反強磁性金属含有層に熱処理を施す工程とを備えることを特徴とする磁気抵抗効果膜の製造方法。

【 0 0 6 4 】

(付記8) 付記7に記載の磁気抵抗効果膜の製造方法において、前記変移体は、酸化物、窒化物、硫化物および炭化物のうち少なくともいずれか1つから構成されることを特徴とする磁気抵抗効果膜の製造方法。

【 0 0 6 5 】

(付記9) 付記7に記載の磁気抵抗効果膜の製造方法において、前記変移体の形成にあたって、前記反強磁性結合層の表面は反応性ガスに曝されることを特徴とする磁気抵抗効果膜の製造方法。

【 0 0 6 6 】

(付記10) 付記9に記載の磁気抵抗効果膜の製造方法において、前記反応性ガスは酸素および窒素のうち少なくとも一方を含むことを特徴とする磁気抵抗効果膜の製造方法。

【 0 0 6 7 】

(付記11) 第1強磁性結晶層と、第1強磁性結晶層からエピタキシャル成長する反強磁性結合層と、反強磁性結合層からエピタキシャル成長する第2強磁性結晶層とを備え、反強磁性結合層および第2強磁性結晶層の間には化合物が挟み込まれることを特徴とする多結晶構造膜。

【 0 0 6 8 】

(付記12) 付記11に記載の多結晶構造膜において、前記化合物は、酸化物、窒化物、硫化物および炭化物のうちから選択されることを特徴とする多結晶構造膜。

【 0 0 6 9 】

(付記13) 付記12に記載の多結晶構造膜において、前記酸化物、窒化物、硫化物および炭化物は、前記反強磁性結合層に含まれる元素と酸素、窒素、硫黄および炭素との化合物であることを特徴とする多結晶構造膜。

【 0 0 7 0 】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、非磁性中間層の膜厚をできる限り減少させて、確実にMR比を増大させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 ハードディスク駆動装置（HDD）の構造を概略的に示す平面図である。

【図 2】 一具体例に係る浮上ヘッドスライダの構造を概略的に示す拡大斜視図である。

【図 3】 浮上面で観察される読み出し書き込みヘッドの様子を示す拡大正面図である。

【図 4】 スピンバルブ膜の構造を概略的に示す部分断面図である。

【図 5】 固定側強磁性層の構造を概略的に示す部分断面図である。

【図 6】 スピンバルブ膜の層構造を備える素材片を概略的に示す斜視図である。

【図 7】 素材片から削り出されたスピンバルブ膜および磁区制御膜の様子を概略的に示す斜視図である。

【図 8】 素材片の形成方法を概略的に示す層断面図である。

【図 9】 変移体すなわち酸化物の生成方法を概略的に示す層断面図である。

【図 10】 素材片の形成方法を概略的に示す層断面図である。

【図 11】 一具体例に係る積層フェリ構造の多結晶構造膜を概略的に示す層断面図である。

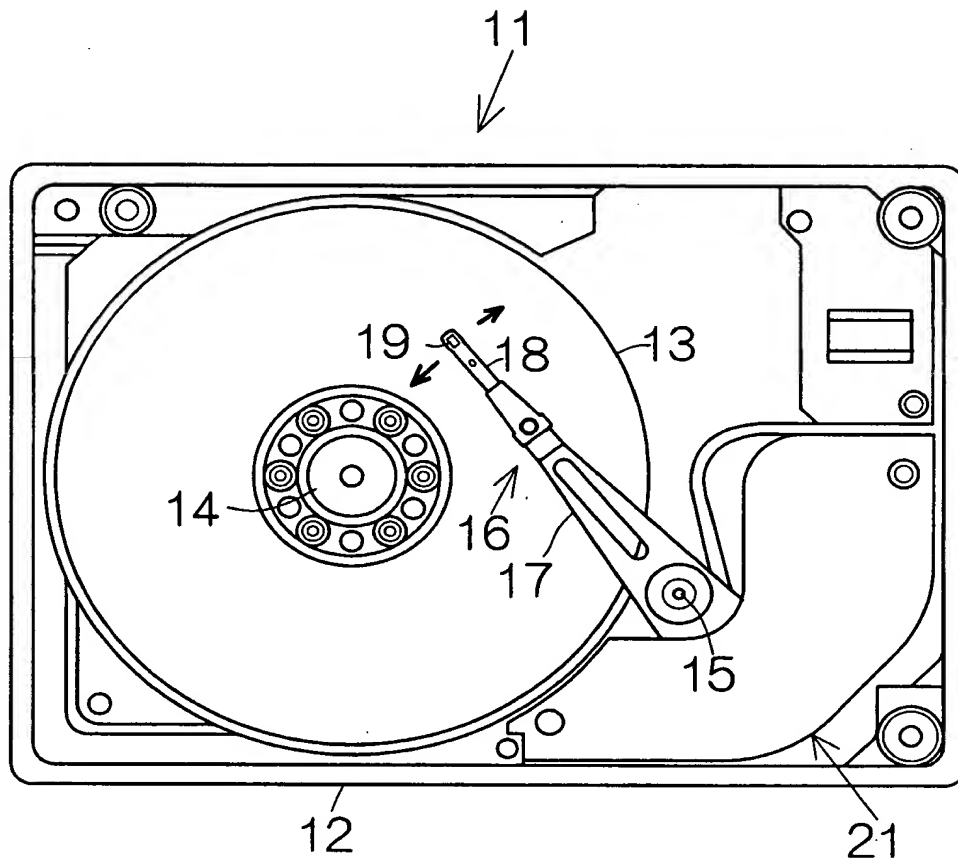
【符号の説明】

4 1 磁気抵抗効果膜としてのスピンバルブ膜、4 5 反強磁性層、4 6 多結晶構造膜としての固定側強磁性層、4 6 a 第 1 強磁性結晶層すなわち第 1 固定側強磁性層、4 6 b 反強磁性結合層、4 6 c 第 2 強磁性結晶層すなわち第 2 固定側強磁性層、4 7 非磁性中間層、4 8 自由側強磁性層、5 1 変移体すなわち化合物としての化合物層、5 3 多結晶構造膜としての素材片、5 6 反強磁性金属含有層、5 7 第 1 強磁性結晶層、5 8 変移体すなわち化合物を

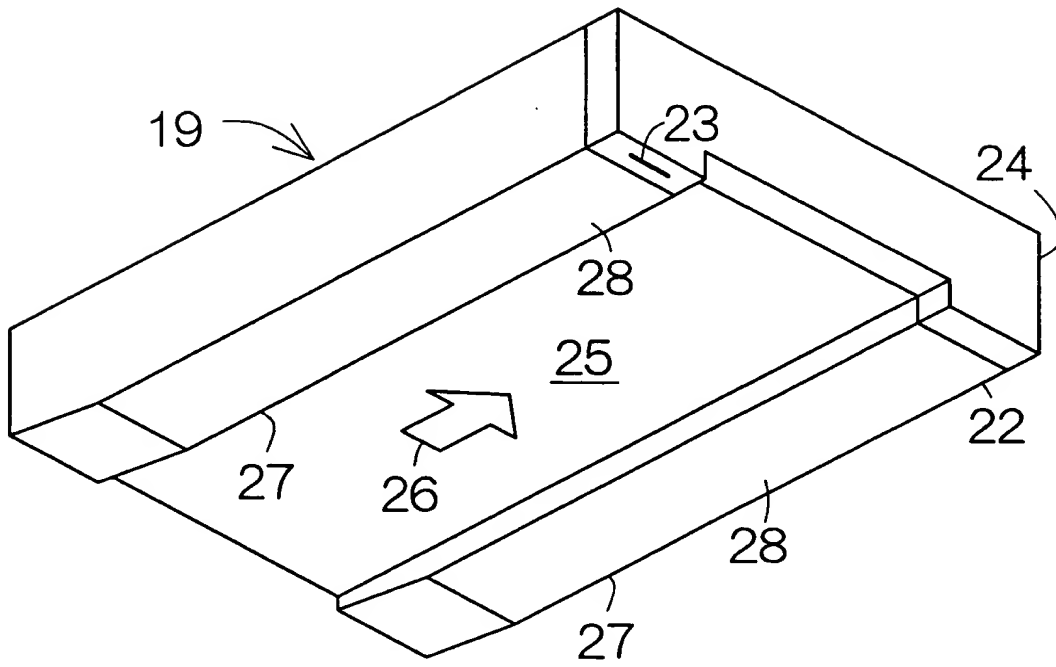
含む反強磁性結合層、59 反応性ガスとしての酸素、61 第2強磁性結晶層、62 非磁性中間層、63 自由側強磁性層、69 第1強磁性結晶層としてのC o F e B層、70 反強磁性結合層としてのR u層、71 第2強磁性結晶層としてのC o F e B層。

【書類名】 図面

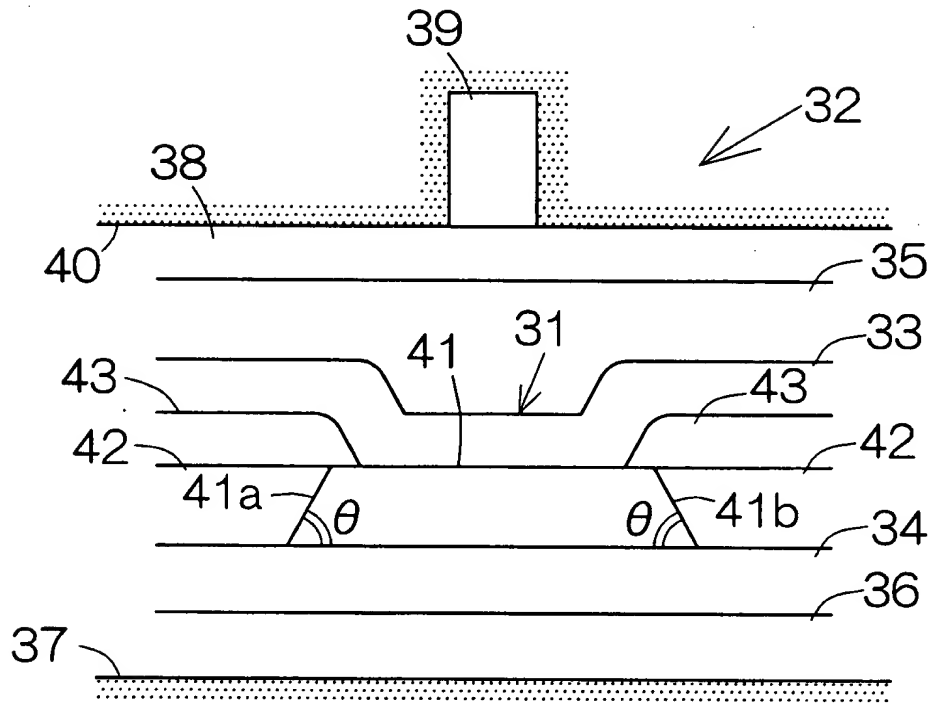
【図 1】



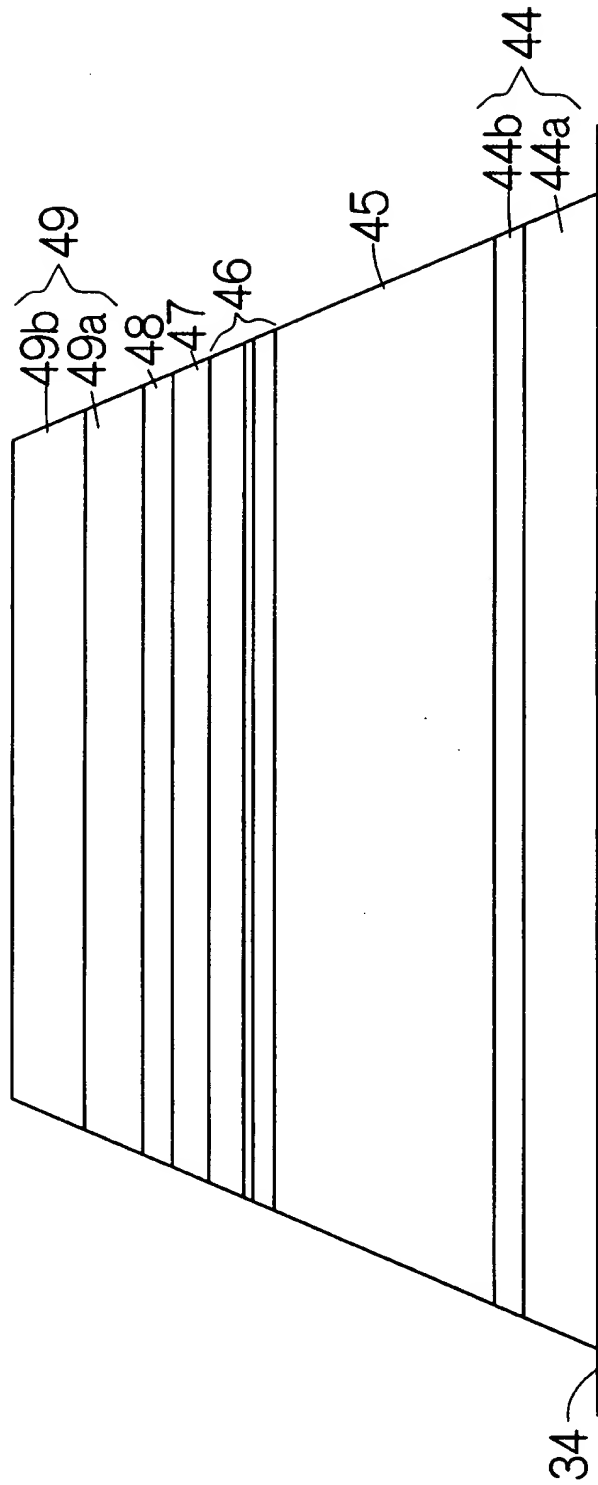
【図 2】



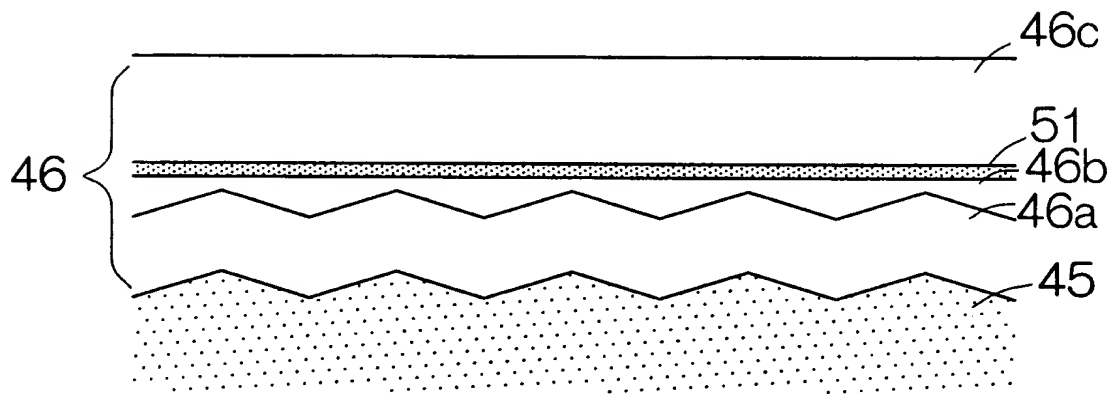
【図 3】



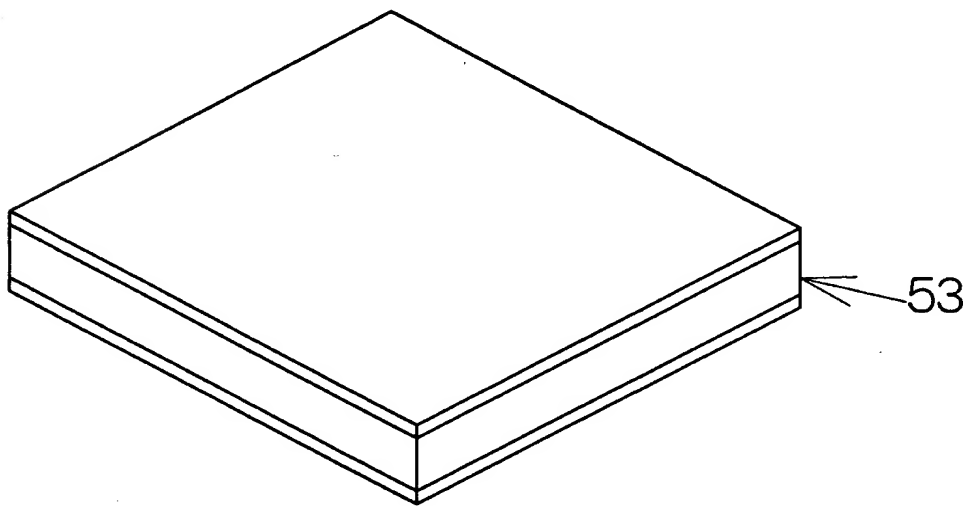
【図 4】



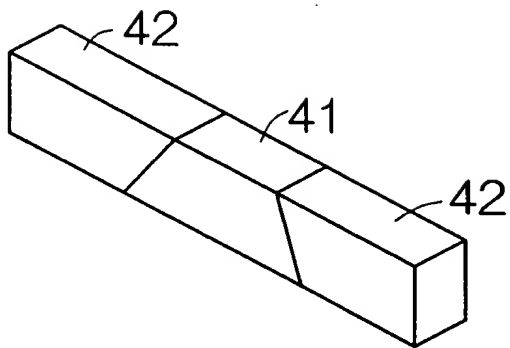
【図 5】



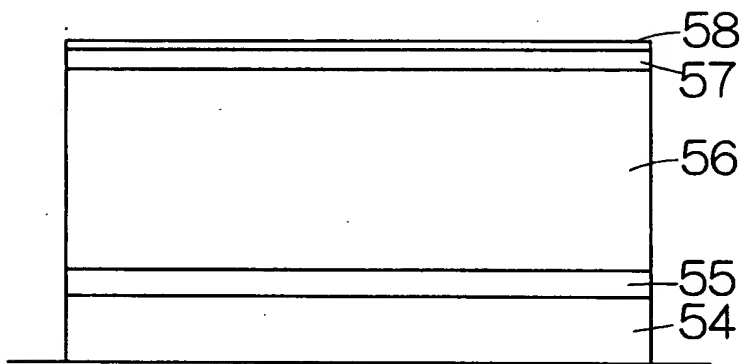
【図 6】



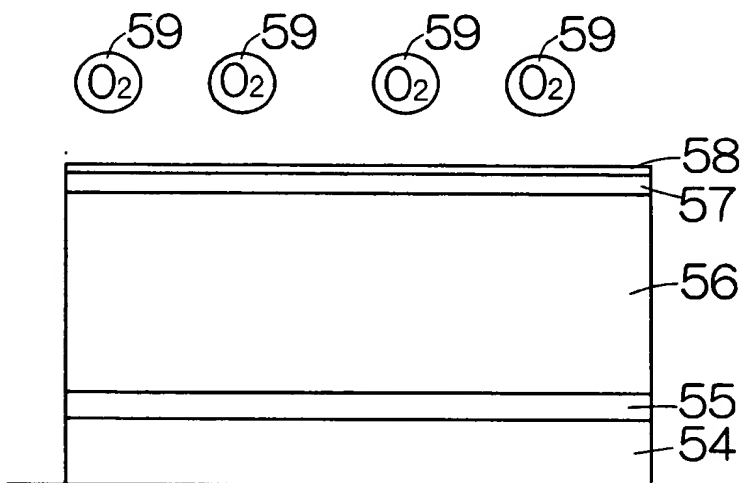
【図 7】



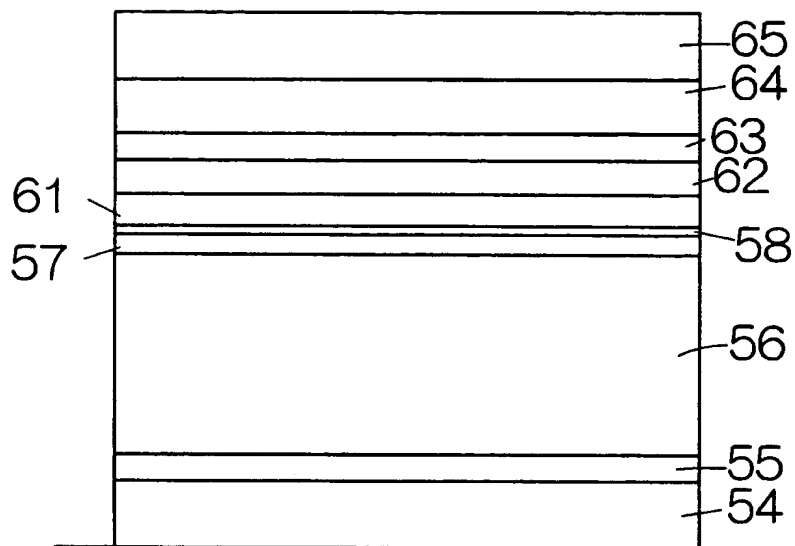
【図 8】



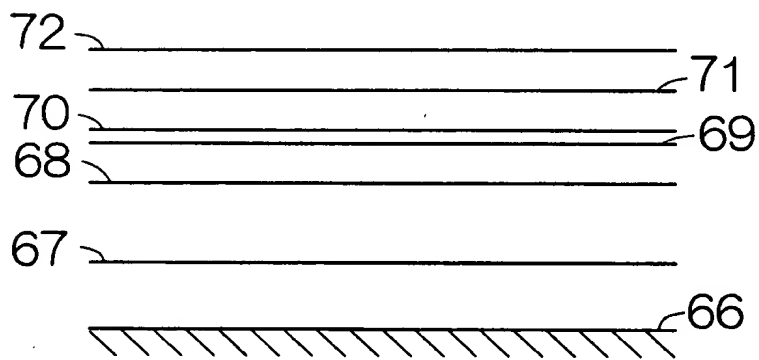
【図 9】



【図 1 0】



【図 1 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 非磁性中間層の膜厚をできる限り減少させて、確実にMR比を増大させることができる磁気抵抗効果膜およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 反強磁性層45上には、第1固定側強磁性層46a、反強磁性結合層46bおよび第2固定側強磁性層46cが順に積層される。積層フェリ構造は確立される。反強磁性結合層46bおよび第2固定側強磁性層46cの間には酸化物層51が挟み込まれる。酸化物層51はうねりの伝搬を著しく抑制する。第2固定側強磁性層46c上に形成される非磁性中間層のうねりは著しく抑制される。こうして非磁性中間層の膜厚が減少しても第2固定側強磁性層と自由側強磁性層との磁気的な結合は確実に回避されることができる。したがって、自由側強磁性層の磁化方向は、非磁性中間層の膜厚の減少にも拘わらず、磁界の向きに応じて比較的簡単に回転する。MR比は向上する。

【選択図】 図5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日	1996年 3月26日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名	富士通株式会社